



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①2 **Offenlegungsschrift**
①0 **DE 43 11 327 A 1**

⑥1 Int. Cl.⁵:
A 61 B 17/22
A 61 H 23/00

②1 Aktenzeichen: P 43 11 327.3
②2 Anmeldetag: 6. 4. 93
④3 Offenlegungstag: 13. 10. 94

DE 43 11 327 A 1

⑦1 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

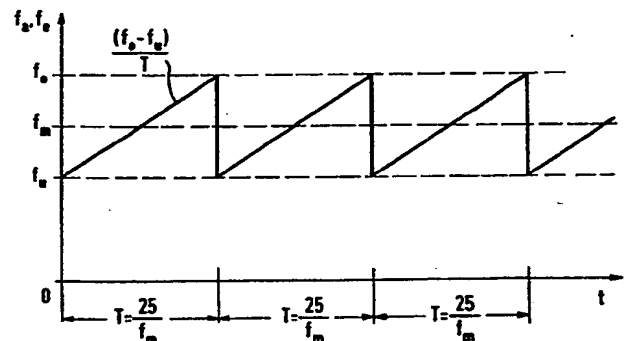
⑦2 Erfinder:
Granz, Bernd, Dr.-Phys., 8507 Oberasbach, DE;
Schätzle, Ulrich, 8520 Erlangen, DE

BEST AVAILABLE COPY

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Therapiegerät zur Behandlung mit akustischen Wellen

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Therapiegerät zur Behandlung mit akustischen Wellen mit einer Quelle zur Erzeugung der akustischen Wellen, die eine durch eine obere und eine untere Grenzfrequenz (f_o bzw. f_u) begrenzte Bandbreite ausfüllen, die wenigstens gleich 5% der Mittenfrequenz (f_m) der akustischen Wellen beträgt.



DE 43 11 327 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 08. 94 408 041/87

10/32

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Therapiegerät zur Behandlung mit akustischen Wellen mit einer Quelle, die die akustischen Wellen aussendet.

Derartige Therapiegeräte werden zur Behandlung sowohl von benignen als auch malignen Gewebeveränderungen eingesetzt. Die Quellen strahlen dabei gewöhnlich akustische Wellen im Ultraschallbereich ab. Die Quellen enthalten gewöhnlich elektroakustische Wandler, die auf ihrer Resonanzfrequenz oder nahe bei ihrer Resonanzfrequenz mit einer definierten Frequenz, d. h. monofrequent, betrieben werden. Bei der Behandlung können im Falle von fokussierten akustischen Wellen im Fokus Temperaturen im Bereich von 40 bis 100°C erzeugt werden, wobei die Temperatur in Abhängigkeit von dem jeweils zu behandelnden Krankheitsbild gewählt wird. Die genannten Temperaturen werden von dem Patienten ertragen, solange das zu behandelnde Organ bzw. Gewebeteil nicht temperaturempfindlich ist. Befindet sich der zu behandelnde Bereich tief innerhalb des Patienten, ist im Falle fokussierter akustischer Wellen deren Intensität an der Eintrittsstelle in den Körper und damit auch die Erwärmung der temperaturempfindlichen Haut gering. Probleme treten erst bei der Behandlung von dicht bei der Körperoberfläche liegenden Bereichen mit fokussierten akustischen Wellen und/oder bei längeren Behandlungsdauern (mehrere Sekunden) auf, im letzteren Falle unabhängig davon, ob die akustischen Wellen fokussiert sind oder nicht.

Es kann dann nämlich zu schmerzlichen Verbrennungen der Haut kommen. Die Behandlung muß daraufhin abgebrochen werden.

Neben der erhöhten Intensität der akustischen Wellen an der Eintrittsstelle im Falle der Behandlung von oberflächennahen Bereichen mit fokussierten akustischen Wellen kommen die Probleme vor allem durch die Entstehung von stehenden Wellen in der Haut oder hautnahen Fettschichten, die akustisch wie zwei planparallele Platten wirken, zustande (siehe Do-Huu et al., "Deep and Local Heating Induced by an Ultrasound Phased Array Transducer", Proc. of the 1982 IEEE Ultrasonics Symposium, 735-738).

Die genannten Probleme lassen sich beispielsweise durch die Verwendung eines von P. M. Harari et al. in Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 21, (1991), 831-840, beschriebenen sogenannten Scanned Focused Ultrasound Hyperthermia Systems vermeiden, wobei mit der Realisierung eines solchen Systems jedoch ein ganz erheblicher technischer Aufwand verbunden ist.

Eine andere Möglichkeit zur Vermeidung der genannten Probleme besteht darin, daß die Quelle keinen Dauerschall, sondern nur kurze Bursts ("Wellenpakete") der akustischen Wellen abstrahlt, die durch längere Pausen voneinander getrennt sind (siehe G. Vallancien et al., "Focussed Extracorporeal Pyrotherapy: Experimental Results", Eur. Urol. 20, (1991), 211-219). Dies führt jedoch zu einer unerwünschten Verlängerung der Behandlungsdauer.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Therapieeinrichtung der eingangs genannten Art so auszubilden, daß auf einfache Weise die Gefahr von Hautverbrennungen zumindest vermindert ist, ohne daß dies zu einer wesentlichen Erhöhung der Behandlungsdauer führt.

Nach der Erfindung wird diese Aufgabe gelöst durch ein Therapiegerät zur Behandlung akustischen Wellen mit einer Quelle zur Erzeugung der akustischen Wellen,

die eine durch eine obere und eine untere Grenzfrequenz begrenzte Bandbreite ausfüllen. Die sich bei der Behandlung in dem zu behandelnden Objekt ausbreitenden akustischen Wellen sind somit inkohärent, womit die grundlegende Voraussetzung für die Entstehung von stehenden Wellen entfällt. Es wird also deutlich, daß die Gefahr von Hautverbrennungen im Vergleich zum Stand der Technik zumindest deutlich vermindert ist. Somit besteht zumindest unter dem Gesichtspunkt der Vermeidung von Hautverbrennungen keine Notwendigkeit im Verlauf der Behandlungsdauer zeitliche Pausen einzulegen, d. h. die Vermeidung von Hautverbrennungen ist ohne Verlängerung der Behandlungsdauer möglich.

Als zweckmäßig hat es sich übrigens erwiesen, wenn die relative Bandbreite wenigstens gleich 5% der Mittenfrequenz der akustischen Wellen beträgt.

Gemäß einer Variante der Erfindung ist vorgesehen, daß die Quelle die akustischen Wellen in Form eines stochastischen akustischen Signals, insbesondere in Form von akustischem Rauschen, erzeugt. Durch die stochastische Natur der akustischen Wellen, d. h. durch innerhalb der Bandbreite statistische Verteilung von Amplitude und Frequenz, können zumindest im wesentlichen keine stehenden Wellen entstehen.

Gemäß einer anderen Variante der Erfindung ist vorgesehen, daß die Quelle die akustischen Wellen in Form eines deterministischen akustischen Signals erzeugt, und zwar gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform als Signal mit sich über der Zeit innerhalb der Bandbreite gleitend ändernder Frequenz. Auch in diesem Falle sind die sich in dem zu behandelnden Objekt ausbreitenden Schallwellen inkohärent, mit der Folge, daß sich zumindest im wesentlichen keine stehenden Wellen ausbilden. Besonders vorteilhaft ist es, wenn sich die Frequenz in aufeinanderfolgenden Signalabschnitten jeweils über die gesamte Bandbreite ändert, da dann die gesamte zur Verfügung stehende Bandbreite für die Unterdrückung von stehenden Wellen ausgenutzt wird. Dabei kann sich die Frequenz in aufeinanderfolgenden Signalabschnitten jeweils entweder gleitend von der unteren Grenzfrequenz auf die obere Grenzfrequenz oder umgekehrt ändern. Das heißt, die Frequenz der akustischen Wellen ändert sich zwischen aufeinanderfolgenden Signalabschnitten sprunghaft. Um zu vermeiden, daß bei dieser sprunghaften Frequenzänderung unerwünschte Verzerrungsprodukte abgestrahlt werden, kann vorgesehen sein, daß sich die Frequenz in aufeinanderfolgenden Signalabschnitten abwechselnd von der unteren Grenzfrequenz auf die obere Grenzfrequenz und von der oberen Grenzfrequenz auf die untere Grenzfrequenz ändert.

Der technische Aufwand zur Realisierung der Frequenzänderung ist dann besonders gering, wenn sich diese gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung linear ändert.

Im Interesse einer möglichst kurzen Behandlungsdauer folgen die Signalabschnitte vorzugsweise unmittelbar aufeinander.

Um unter allen Umständen die Entstehung von stehenden Wellen ausschließen zu können, ist es zweckmäßig, wenn die Dauer der Signalabschnitte jeweils höchstens dem 100fachen, vorzugsweise höchstens dem 25fachen Kehrwert der Mittenfrequenz entspricht. Aus dem gleichen Grund ist es zweckmäßig, wenn sich die Frequenz innerhalb der einzelnen Signalabschnitte über der Zeit mit einer Rate ändert, die wenigstens gleich dem Quotienten der Bandbreite und des 100fachen

Kehrwertes der Mittenfrequenz ist. Besonders zweckmäßig ist es, wenn die Mittenfrequenz und die Bandbreite der akustischen Wellen mit der Mittenfrequenz und der Bandbreite des Amplitudenfrequenzganges der Quelle wenigstens im wesentlichen identisch sind. Auf diese Weise wird eine optimale Ausnutzung der Bandbreite der Quelle ermöglicht. Bereits eine geringe relative Bandbreite, z. B. 5%, reicht zwar aus, jedoch sind möglichst große Bandbreiten im Interesse einer möglichst weitgehenden Vermeidung von stehenden Wellen günstig. Wenn die Quelle einen piezoelektrischen Wandler zur Erzeugung der akustischen Wellen enthält, sind relative Bandbreiten von mehr als 50% realisierbar.

Falls im zu behandelnden Bereich derart hohe Intensitäten der akustischen Wellen benötigt werden, daß Schädigungen gesunden Gewebes zu erwarten sind, wenn dieses von den Schallwellen durchlaufen wird, ist es zweckmäßig vorzusehen, daß die Quelle fokussierte akustische Wellen erzeugt, da dann nur im zu behandelnden Bereich Intensitäten auftreten, die zu Schädigungen führen können.

Da zur Vermeidung von Hautverbrennungen Unterbrechungen des Behandlungsvorganges nicht erforderlich sind, ist es an sich im Interesse einer kurzen Behandlungsdauer zweckmäßig, wenn die Quelle die akustischen Wellen über einen Zeitraum kontinuierlich erzeugt. Es ist jedoch zu beachten, daß die Behandlung ein und derselben Zone über eine Dauer von wesentlich mehr als 10 Sekunden hinaus nicht zweckmäßig ist, da dann ein merklicher Energieabtransport durch Blutfusion eintritt. Es sollte daher nach jeweils etwa 10 Sekunden eine andere Zone des zu behandelnden Bereichs behandelt werden.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 in grob schematischer Darstellung ein erfindungsgemäßes Therapiegerät,

Fig. 2 für zwei unterschiedliche Betriebsarten des Gerätes gemäß Fig. 1 den Amplitudenfrequenzgang der abgestrahlten akustischen Wellen,

Fig. 3 ein weiteres erfindungsgemäßes Therapiegerät,

Fig. 4 und 5 für zwei unterschiedliche Betriebsarten den Verlauf der Frequenz der von dem Gerät gemäß Fig. 3 abgestrahlten akustischen Wellen über der Zeit,

Fig. 6 eine Variante eines Details des Gerätes gemäß Fig. 3, und

Fig. 7 für eine der Betriebsarten des Gerätes gemäß Fig. 6 den Verlauf der Frequenz der akustischen Wellen über der Zeit.

In Fig. 1 ist ein erfindungsgemäßes Therapiegerät dargestellt, dessen Quelle akustischer Wellen insgesamt mit 1 bezeichnet ist. Die grob schematisch veranschaulichte Quelle 1 weist ein Gehäuse 2 auf, das an seinem einen Ende mit einem piezoelektrischen Ultraschallwandler 3 versehen ist, der auf einem Backing 4 (Tragkörper) angebracht ist. Das mit Wasser als Ausbreitungsmedium für die von dem piezoelektrischen Wandler 3 ausgehenden akustischen Wellen gefüllte Gehäuse 2 ist an seinem anderen Ende durch eine flexible Koppelmembran 5 verschlossen. Diese dient dazu, die Quelle 1 zur akustischen Ankopplung an die Körperoberfläche eines schematisch angedeuteten Patienten P anzupressen. Zur Fokussierung der von dem piezoelektrischen Wandler 3 ausgehenden akustischen Wellen ist in das in dem Gehäuse 1 befindliche akustische Ausbreitungsmedium eine akustische Sammellinse 6 eingesetzt. Durch deren Wirkung werden die akustischen Wellen in der in Fig. 1 strichliert angedeuteten Weise auf eine

Fokuszone F fokussiert.

Zur Durchführung einer Behandlung wird die Quelle 1 mit Hilfe einer Ortungseinrichtung, die beispielsweise auf Röntgen- und/oder Ultraschall-Basis arbeiten kann, so ausgerichtet, daß der jeweils zu behandelnde Bereich, im Falle der Fig. 1 eine Gewebewucherung W, in der Fokuszone F zu liegen kommt.

Zum Antrieb des piezoelektrischen Wandlers 3 ist eine schematisch als Blockschaltbild dargestellte Stromversorgung vorgesehen. Diese enthält einen elektrischen Rauschgenerator 7, dessen Ausgangssignal über einen Leistungsverstärker 8 dem piezoelektrischen Wandler 3 zugeführt ist.

Da der Amplitudenfrequenzgang des mit dem Backing 4 verbundenen und an das akustische Ausbreitungsmedium angrenzenden piezoelektrischen Wandlers 3 im Bereich von dessen Grundresonanz eine Bandpaßcharakteristik mit einer oberen und einer unteren Grenzfrequenz f_0 bzw. f_u und einer Mittenfrequenz f_m ($2f_m = f_0 + f_u$) aufweist und das von dem Rauschgenerator 7 gelieferte elektrische Rauschsignal ein stochastisches Signal mit statistisch verteilten Frequenzen und Amplituden ist, strahlt die Quelle 1 akustische Wellen ab, die im Bereich der Grundresonanz vorhandene Bandbreite des Wandlers 3 ausfüllen. Die relative Bandbreite des Wandlers 3 und damit auch die der akustischen Wellen beträgt übrigens vorzugsweise wenigstens 5% der Mittenfrequenz, die einer der Resonanzfrequenzen, vorzugsweise der Grundresonanz, des mit dem Backing 4 verbundenen und an das Ausbreitungsmedium angrenzenden Wandlers 3 entspricht.

Infolge des Umstandes, daß es sich bei den abgestrahlten akustischen Wellen um ein die Bandbreite des Wandlers 3 ausfüllendes stochastisches Signal handelt, sind die sich in dem Körper des Patienten P ausbreitenden akustischen Wellen inkohärent. Dies hat zur Folge, daß praktisch keine stehenden Wellen im Körper des Lebewesens entstehen können, mit der Folge, daß die Gefahr von Hautverbrennungen deutlich gemindert ist. Es besteht daher auch keine Notwendigkeit, während der Behandlung des Patienten P zur Vermeidung von Hautverbrennungen Behandlungspausen einzulegen, in denen die Abstrahlung der zur Behandlung dienenden akustischen Wellen unterbleibt.

Mittels eines Schalters 9 kann zwischen dem Rauschgenerator 7 und dem Leistungsverstärker 8 wahlweise ein Tiefpaßfilter 10 geschaltet werden, das oberhalb seiner Grenzfrequenz eine mit einer Flankensteilheit von -3 dB/Oktave abfallende Flanke aufweist. Da Rauschgeneratoren gewöhnlich weißes Rauschen erzeugen, besteht somit, sofern die Grenzfrequenz des Tiefpaßfilters 10 nicht unterhalb der unteren Grenzfrequenz des piezoelektrischen Wandlers 3 liegt die Möglichkeit, mit der Quelle 1 akustische Wellen abzustrahlen, bei denen es sich wahlweise um weißes oder rosa Rauschen handelt, wobei zur Erzeugung von rosa Rauschen das Tiefpaßfilter 10 zwischen dem Rauschgenerator 7 und dem Leistungsverstärker 8 geschaltet sein muß.

Die entsprechenden Amplitudenfrequenzgänge des Schalldruckes p der akustischen Wellen (dicht bei dem piezoelektrischen Wandler 3 gemessen) sind in Fig. 2 dargestellt. Dabei sind f_w die untere Grenzfrequenz f_m die Mittenfrequenz und f_0 die obere Grenzfrequenz der Bandbreite des akustischen Rauschsignals.

Zur Behandlung von Gewebeveränderungen sollte die Mittenfrequenz bei ca. 1 bis 3 MHz liegen. Obwohl auch geringere Werte ausreichen, sollten als Wert für die relative Bandbreite 40 bis 50% der Mittenfrequenz

angestrebt werden.

Um eine unnötige Beaufschlagung des piezoelektrischen Wandler 3 mit elektrischer Leistung zu vermeiden, ist es zweckmäßig, in in Fig. 1 nicht dargestellter Weise ein Bandpaßfilter zwischen den Rauschgenerator 7 und den Leistungsverstärker 8 zu schalten, der die Bandbreite des dem piezoelektrischen Wandler 3 zugeführten Rauschsignals auf die Bandbreite des piezoelektrischen Wandlers 3 beschränkt.

Das erfindungsgemäße Therapiegerät gemäß Fig. 3 unterscheidet sich von dem gemäß Fig. 1 zunächst dadurch, daß die Fokussierung der von der Quelle 1 erzeugten akustischen Wellen nicht mit Hilfe einer akustischen Sammellinse sondern durch eine sphärische Formgebung des wieder auf einem Backing 4' angebrachten piezoelektrischen Wandlers 3' erfolgt.

Als Stromversorgung für den piezoelektrischen Wandler 3' ist ein Sinusgenerator 11 vorgesehen, der wieder über einen Leistungsverstärker 8' mit dem piezoelektrischen Wandler 3' verbunden ist. Der Sinusgenerator 11 ist frequenzmodulierbar und weist demnach einen Eingang für ein Modulationssignal auf, der mit einem dieses Signal erzeugenden Modulator 12 verbunden ist. Der Modulator 12 weist zwei Ausgänge auf. An dem einen Ausgang steht ein Sägezahn- und an dem anderen Ausgang ein Dreieckssignal zur Verfügung, wobei die Frequenz des Sägezahnsignals doppelt so groß wie die des Dreieckssignals ist. In Abhängigkeit von der Stellung eines Schalters 13 ist dem Sinusgenerator 11 als Modulationssignal entweder das Sägezahn- oder das Dreieckssignal zugeführt. Die Frequenz des mittels des Sinusgenerators 11 erzeugten Sinussignals ändert sich linear in Abhängigkeit von der Amplitude des Modulationssignals. Demnach ergibt sich für die in Fig. 3 dargestellte Stellung des Schalters 13 ein Verlauf der Frequenz f_c des Sinussignals, wie er in Fig. 4 dargestellt ist. Für die in Fig. 3 nicht dargestellte Stellung des Schalters 13 ergibt sich der in Fig. 5 dargestellte Verlauf der Frequenz f_c des Sinussignals über der Zeit t .

Auch der piezoelektrische Wandler 3' der Quelle 1' weist einen bandpaßartigen Amplitudenfrequenzgang mit einer durch eine obere und eine untere Grenzfrequenz begrenzten Bandbreite auf. Die obere und die untere Amplitude des dem Sinusgenerator 11 zugeführten Modulationssignals sind derart gewählt, daß sich die obere und die untere Grenzfrequenz f_o bzw. f_u des Sinussignals innerhalb der Bandbreite des Amplitudenfrequenzganges des piezoelektrischen Wandlers 3' befindet. Vorzugsweise sind die obere und die untere Amplitude des Modulationssignals so gewählt, daß die obere und die untere Grenzfrequenz f_o und f_u des Sinussignals mit der oberen und der unteren Grenzfrequenz der Bandbreite des piezoelektrischen Wandlers 3' übereinstimmen.

Der Verlauf der Frequenz f_a der von dem piezoelektrischen Wandler 3' abgestrahlten akustischen Wellen über der Zeit t entspricht jedenfalls dem in der Fig. 4 bzw. der Fig. 5 dargestellten Verlauf, d. h., sie füllen die Bandbreite zwischen der oberen Grenzfrequenz f_o und der unteren Grenzfrequenz f_u aus. Damit sind die sich in dem Gewebe des Patienten P ausbreitenden Schallwellen nicht kohärent, mit der Folge, daß dem Entstehen von stehenden Wellen entgegengewirkt ist.

Die einzelnen Signalabschnitte, in die der zeitliche Verlauf der akustischen Wellen unterteilt ist, weisen eine Zeitdauer T auf, die in der Größenordnung des 25fachen Kehrwertes der Mittenfrequenz der Bandbreite der akustischen Wellen liegt. Der Wert für T sollte höch-

stens in der Größenordnung des 100fachen Kehrwertes der Mittenfrequenz f_m liegen.

Innerhalb der einzelnen Signalabschnitte sollte sich die Frequenz der akustischen Wellen über der Zeit mit einer Rate ändern, die wenigstens gleich dem Quotienten aus der Bandbreite, d. h. der Differenz zwischen oberer und unterer Grenzfrequenz $f_o - f_u$, und der Dauer T der Signalabschnitte ist. Dies ist der Fall, da diese Rate im Falle des Therapiegerätes gemäß Fig. 3 in der aus Fig. 4 und 5 ersichtlichen Weise gleich dem genannten Quotienten ist.

Durch beide vorgenannte Maßnahmen ist sichergestellt, daß stehende Wellen auch unter ungünstigen Umständen praktisch nicht entstehen können.

Wie schon im Falle der Therapieeinrichtung gemäß Fig. 1 ist es nicht erforderlich, Behandlungspausen zur Vermeidung von Hautverbrennungen einzulegen. Vielmehr schließen sich aufeinanderfolgende Signalabschnitte unmittelbar aneinander an.

Eine Variante der in Fig. 3 dargestellten Therapieeinrichtung ist in Fig. 6 dargestellt. Diese unterscheidet sich von der gemäß Fig. 3 dadurch, daß zwischen den Schalter 13 und den Sinusgenerator 11 ein Analog-Addierer 14 geschaltet ist, der dazu dient, dem mittels des Modulators 12 erzeugten Sägezahn- bzw. Dreieckssignal ein Sägezahn- bzw. Dreieckssignal und höherer Frequenz und vorzugsweise geringerer Amplitude zu überlagern. Zur Erzeugung dieses Signals ist ein Signalgenerator 15 vorgesehen, der zwei Ausgänge aufweist, von denen einer das Sägezahn- und der andere das Dreieckssignal liefert. Über einen Schalter 16 kann wahlweise das eine oder das andere Signal dem Addierer 14 zugeführt werden. Somit kann sowohl dem von dem Modulator 12 gelieferten Sägezahnsignal als auch dem von dem Modulator 12 gelieferten Dreieckssignal wahlweise ein Sägezahn- oder ein Dreieckssignal überlagert werden.

Für die in Fig. 6 gezeigten Stellungen der Schalter 13 und 16 ergibt sich für das Ausgangssignal des Addierers 14 der in Fig. 7 gezeigte Verlauf der Frequenz f_c des Sinussignals über der Zeit t . Den gleichen Verlauf der Frequenz f_a über der Zeit t weisen auch die von dem piezoelektrischen Wandler 3' abgestrahlten akustischen Wellen auf. Es wird somit deutlich, daß sich durch die beschriebene Signalüberlagerung die Rate, mit der sich die Frequenz der akustischen Wellen über der Zeit ändert, nochmals steigern läßt. Es versteht sich, daß die Frequenz und die Amplitude der von dem Signalgenerator 15 erzeugten Signale vorzugsweise derart gewählt sind, daß sich eine Vergrößerung der genannten Rate ergibt.

Im Falle der Fig. 6 sind die Signale des Modulators 12 und des Signalgenerators 15 miteinander synchronisiert, was auch aus Fig. 7 ersichtlich ist. Für den Modulator 12 und den Signalgenerator 15 ist ein gemeinsamer Taktgenerator 17 vorgesehen, der mit einem Takteingang des Modulators 12 bzw. des Signalgenerators 15 verbunden ist. Dabei ist zwischen dem Taktgenerator 17 und dem Modulator 12 ein Teiler 18 geschaltet, durch dessen Teilverhältnis das Verhältnis festgelegt ist, in dem die Frequenzen der Ausgangssignale des Modulators 12 und des Signalgenerators 15 zueinander stehen.

Obwohl die beschriebenen Ausführungsbeispiele ausschließlich Therapievorrichtungen betreffen, die einen piezoelektrischen Wandler enthalten, der übrigens sowohl aus einer Vielzahl von mosaikartig angeordneten Wanderelementen als auch aus einem einzigen Wanderelement bestehen kann, können statt des piezoelektrischen Wandlers auch andere, beispielsweise magne-

tostriktive Wandler vorgesehen sein. Allerdings sind piezoelektrische Wandler für die erfindungsgemäße Therapieeinrichtung besonders geeignet, da sich bei diesen durch gute Bedämpfung mit einem Backing und/oder eine gute Ankopplung an das akustische Ausbreitungsmedium leicht große relative Bandbreiten realisieren lassen. Im Falle der beschriebenen Ausführungsbeispiele werden als akustische Wellen fokussierte Ultraschallwellen abgestrahlt. Die akustischen Wellen müssen jedoch nicht notwendigerweise fokussiert sein. Außerdem muß es sich bei den akustischen Wellen nicht notwendigerweise um Ultraschallwellen handeln.

Die im Zusammenhang mit den Ausführungsbeispielen beschriebenen Signalformen sind nur beispielhaft zu verstehen; wesentlich ist, daß die akustischen Wellen eine Bandbreite ausfüllen und somit in der zur Vermeidung von stehenden Wellen erforderlichen Weise inkohärent sind.

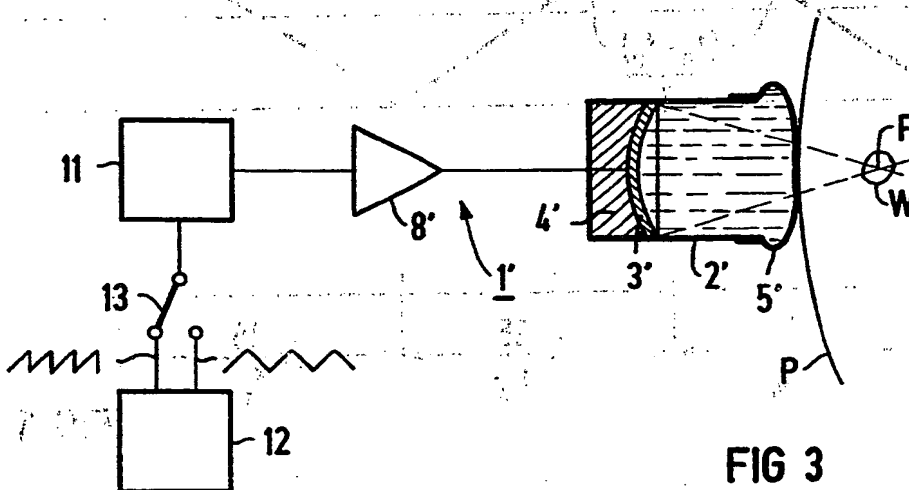
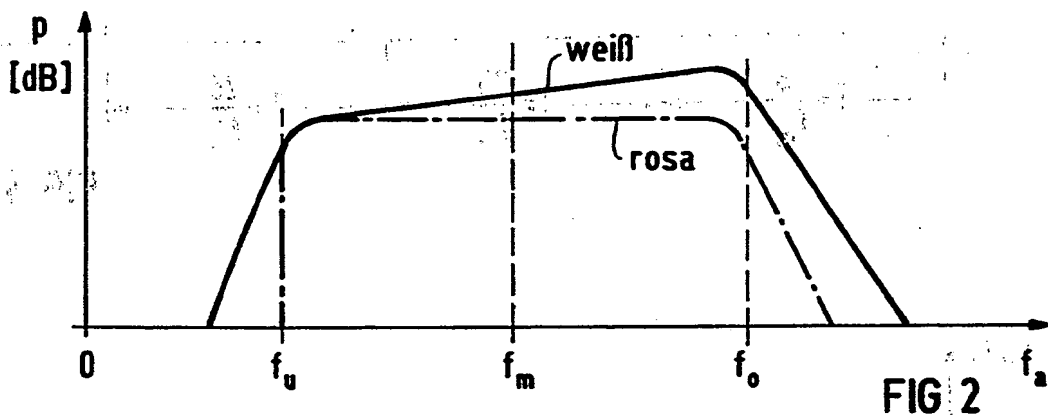
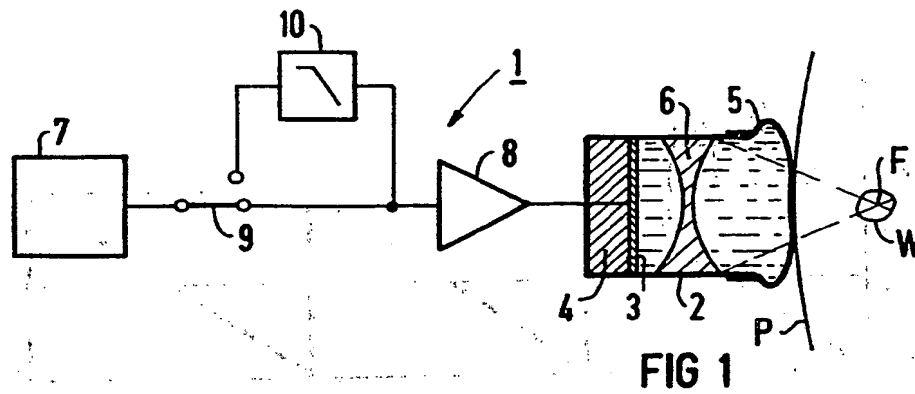
Die Quellen im Falle der beschriebenen Ausführungsbeispiele weisen jeweils ein Backing auf. Dieses kann auch entfallen. Es besteht auch die Möglichkeit, anstelle eines Backings oder zusätzlich zu diesem eine sogenannte 1/4-Ankoppelschicht zur Ankoppelung der Quelle bzw. des piezoelektrischen Ultraschallwandlers an das akustische Ausbreitungsmedium vorzusehen.

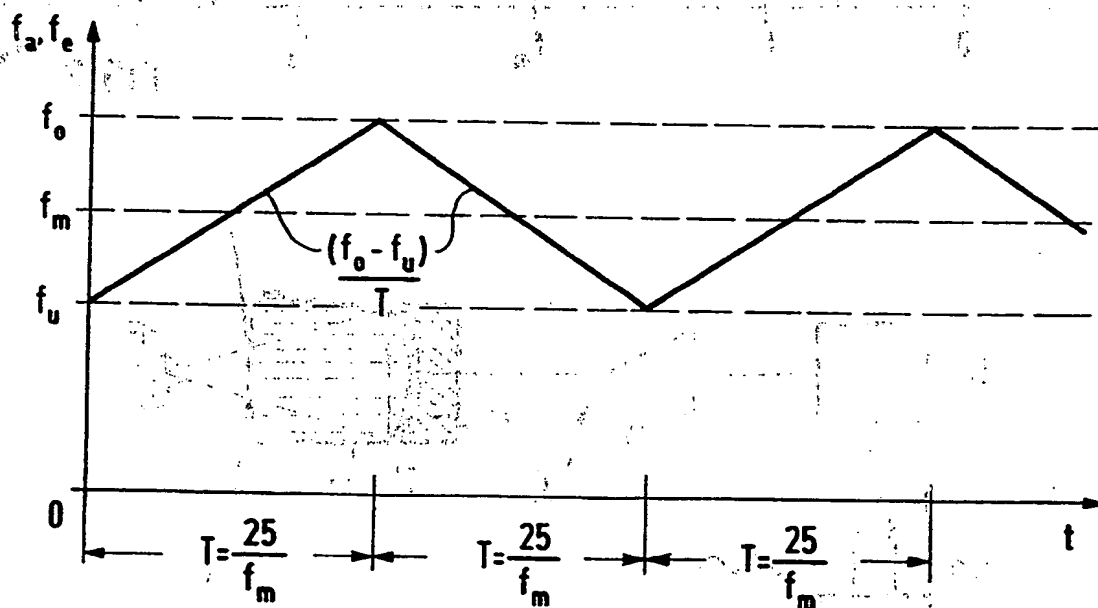
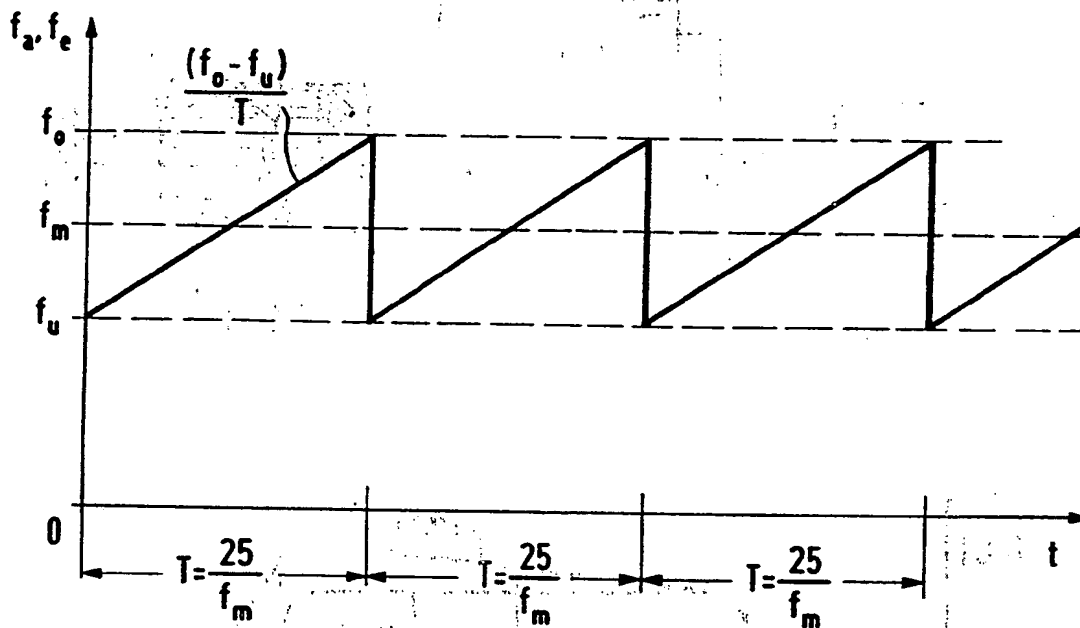
Patentansprüche

1. Therapiegerät zur Behandlung mit akustischen Wellen mit einer Quelle (1, 1') zur Erzeugung der akustischen Wellen, die eine durch eine obere und eine untere Grenzfrequenz (f_0 bzw. f_u) begrenzte Bandbreite ausfüllen.
2. Therapiegerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die relative Bandbreite der akustischen Wellen wenigstens gleich 5% der Mittenfrequenz (f_m) der akustischen Wellen beträgt.
3. Therapiegerät nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Quelle (1) die akustischen Wellen in Form eines stochastischen akustischen Signals erzeugt.
4. Therapiegerät nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Quelle (1) akustische Wellen in Form von akustischem Rauschen erzeugt.
5. Therapiegerät nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Quelle (1') die akustischen Wellen in Form eines deterministischen akustischen Signals erzeugt.
6. Therapiegerät nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Quelle (1') das deterministische Signal als Signal mit sich über der Zeit innerhalb der Bandbreite gleitend ändernder Frequenz erzeugt.
7. Therapiegerät nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Frequenz in aufeinanderfolgenden Signalabschnitten der akustischen Wellen jeweils über die gesamte Bandbreite ändert.
8. Therapiegerät nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Frequenz in aufeinanderfolgenden Signalabschnitten gleitend jeweils entweder von der unteren Grenzfrequenz (f_u) der Bandbreite auf die obere Grenzfrequenz (f_0) oder umgekehrt ändert.
9. Therapiegerät nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Frequenz in aufeinanderfolgenden Signalabschnitten gleitend abwechselnd von der unteren Grenzfrequenz (f_u) auf die obere Grenzfrequenz (f_0) und von der oberen Grenzfrequenz (f_0) auf die untere Grenzfrequenz (f_u) ändert.
10. Therapiegerät nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Frequenz über der Zeit linear ändert.
11. Therapiegerät nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Signalabschnitte unmittelbar aufeinander folgen.
12. Therapiegerät nach einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer der Signalabschnitte jeweils höchstens dem 100fachen Kehrwert der Mittenfrequenz (f_m) entspricht.
13. Therapiegerät nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Frequenz innerhalb der einzelnen Signalabschnitte über der Zeit mit einer Rate ändert, die wenigstens gleich dem Quotienten der Bandbreite und des 100fachen Kehrwertes der Mittenfrequenz (f_m) der Bandbreite ist.
14. Therapiegerät nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittenfrequenz (f_m) und die Bandbreite der akustischen Wellen mit der Mittenfrequenz und der Bandbreite des Amplitudenfrequenzganges der Quelle (1, 1') wenigstens im wesentlichen identisch sind.
15. Therapiegerät nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Quelle (1, 1') fokussierte akustische Wellen erzeugt.
16. Therapiegerät nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Quelle (1, 1') die akustischen Wellen über einen Zeitraum kontinuierlich erzeugt.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

10. Therapiegerät nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Frequenz über der Zeit linear ändert.
11. Therapiegerät nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Signalabschnitte unmittelbar aufeinander folgen.
12. Therapiegerät nach einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer der Signalabschnitte jeweils höchstens dem 100fachen Kehrwert der Mittenfrequenz (f_m) entspricht.
13. Therapiegerät nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Frequenz innerhalb der einzelnen Signalabschnitte über der Zeit mit einer Rate ändert, die wenigstens gleich dem Quotienten der Bandbreite und des 100fachen Kehrwertes der Mittenfrequenz (f_m) der Bandbreite ist.
14. Therapiegerät nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittenfrequenz (f_m) und die Bandbreite der akustischen Wellen mit der Mittenfrequenz und der Bandbreite des Amplitudenfrequenzganges der Quelle (1, 1') wenigstens im wesentlichen identisch sind.
15. Therapiegerät nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Quelle (1, 1') fokussierte akustische Wellen erzeugt.
16. Therapiegerät nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Quelle (1, 1') die akustischen Wellen über einen Zeitraum kontinuierlich erzeugt.





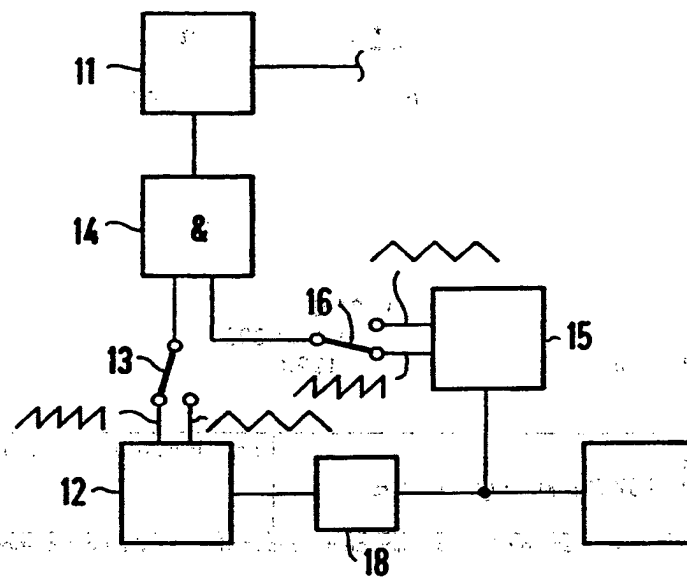


FIG 6

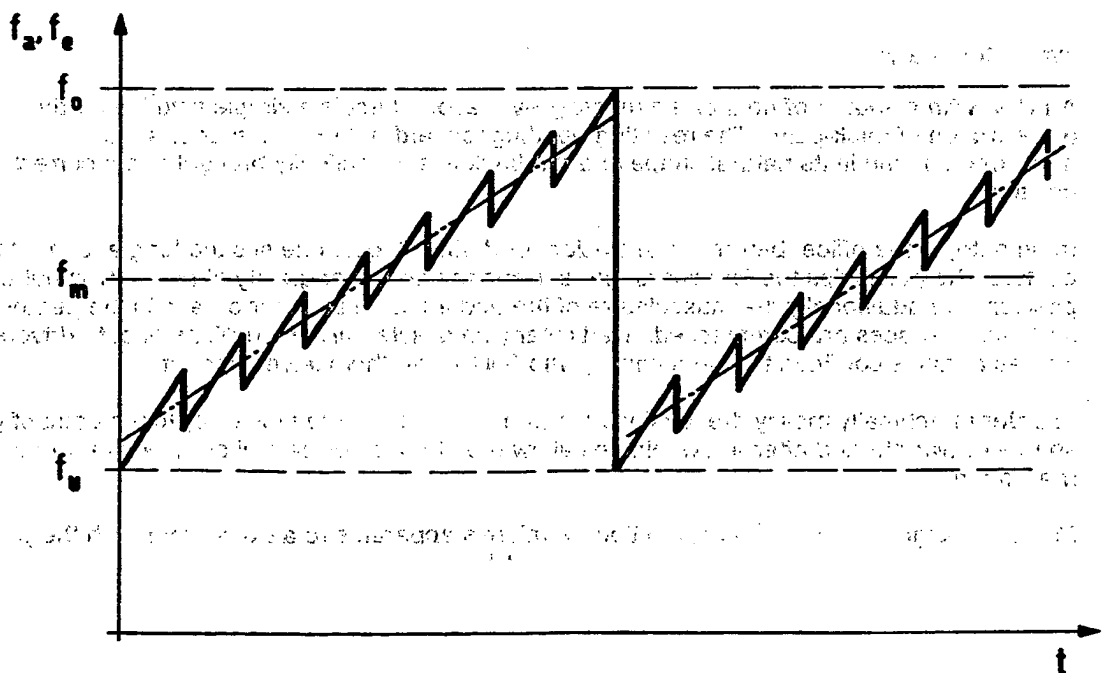


FIG 7

*Therapy apparatus for
Treatment with Acoustic Waves*

V1025/20122

(19) Republic of Germany
German Patent Office

(12) Declaration

(10) DE 43 11 327 A1

(51) Int. Cl.⁶:
A 61 B 17/22
A 61 H 23/00

(21) File No. P 43 11 327.3
(22) Date of Application April 6, 1993
(43) Date of Declaration October 13, 1994

(71) Applicant: Siemens, AG 80333 München, DE	(72) Inventor(s): Granz, Bernd, Dr.-Phys., 8507 Oberasbach, DE Schätzle, Ulrich, 8520 Erlangen, DE
--	--

Request for examination in accord with § 44 Patent Law has been submitted

(54) Title:

**Therapy apparatus for
Treatment with Acoustic Waves**

(57) Summary:

The invention concerns an apparatus for therapy for treatment with acoustic waves, said apparatus having a source for the production of the said acoustic waves, which fill a bandwidth limited by an upper and a lower limiting frequency, respectively (f_o and f_u), and the said bandwidth equals at least 5 % of the midpoint frequency (f_m) of the acoustic waves.

See Fig. 4

25/03/2010

[illegible]

$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right) = \frac{\partial L}{\partial x}$

THIS PAGE BLANK (USPTO)

1. The first group of people who are affected by the economic crisis are the poor and the unemployed. They are the most vulnerable group in society and they are the ones who are most likely to be affected by the economic crisis.

*Therapy apparatus for
Treatment with Acoustic Waves*

V1025/20122

Declaration Text
DE 43 11 327 A1

Therapy apparatus for
Treatment with Acoustic Waves

Description

The invention concerns an apparatus for therapy for treatment with acoustic waves, having a source, which emits the said acoustic waves.

Apparatuses for therapies of this type have been applied in the treatment of benign as well as malignant tissue growths. The sonic sources normally radiate, in such treatments, acoustic waves in the ultrasonic range. The sources contain, customarily, electro-acoustic transducers, which, are operated at their resonance frequency at a defined frequency, that is, a mono-frequency. In the case of treatments in cases where focused acoustic waves are employed, it is possible that temperatures in the range of 40 to 100 C° can be generated at the focus point. The temperature, in such cases, can be selected in accordance with the individual treatment. The said temperatures can be endured by the patient, as long as the organ, or tissue being treated is not temperature sensitive. If the area to be treated is to be found at a depth within the patient, then, where focused acoustic waves are concerned, their intensity at the entry point of the body is small, and consequently the heating of the skin is insignificant. Problems principally arise in the case of treatment of bodily zones which lie close to the surface, where focused acoustic waves and/or longer treatments (several seconds) are used. In the case of longer treatments, it is independent thereof, whether the acoustic waves are focused or not. This procedure can lead to painful burns of the skin. Such a treatment must be broken off.

Besides the increased intensity of the acoustic waves at the entry zone during the treatment of surface located areas with focused acoustic waves, a serious problem arises in regard to the presence of standing waves in the skin or in skin-adjacent layers of fat. The skin and the said fat layers act similarly to parallel plane plates (see Do-Huu et al., *"Deep and Local Heating Induced by an Ultrasound Phased Array Transducer"* in Proceedings of the 1982 IEEE Ultrasonics Symposium, 735 – 738).

THIS PAGE BLANK (USPTO)

The following information was obtained from the records of the [redacted] Department of the Interior, Bureau of Land Management, regarding the [redacted] land grant.

[The remainder of the page contains extremely faint, illegible text.]

V1025/20122

The named problems have been avoided by, for instance, the use of a so-called "*Scanned focused Ultrasound Hyperthermia Systems*", by P. M. Harai et al., in *Int. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 21 (1991), 831 – 840, whereby, the realization of such a system is connected with a very high degree of technological input, expense and time.

Another possibility for the avoidance of surface burn is found in allowing the source to emit no continuous sound, but rather provide short bursts, i.e. wave packets of the acoustic waves, which, by means of more lengthy pauses, are separated from one another. In this regard, see G. Vallencia et al., ("*Focused Extracorporeal Pyrotherapy: Experimental Results*", *Eur. Urol.*, 20, (1991), 211 – 219). This practice, however, leads to an undesirable extension of the treatment time.

The purpose of the invention is to so develop a therapy apparatus of the generic type described in the introductory passages, that, in a simple manner, the danger from skin burning is at least ameliorated, and to do so without essentially leading to an increase of the duration of the treatment.

In accord with the invention, this purpose is achieved by means of an apparatus for therapy, suitable for treatments with acoustic waves, which has a source for the generation of said acoustic waves, which waves fully occupy a bandwidth which is limited by an upper and a lower limiting frequency. The acoustic waves, which are propagated into the treated object, are, in this way, incoherent, whereby the fundamental prerequisites for the generation of standing wave are lacking. It also becomes clear, that the danger of burning the skin, in comparison to the state of the technology, is at least obviously diminished. Thus, there exists, at least from the point of view of avoidance of skin burning, no necessity for introducing pauses to interrupt the treatment time. That is, avoidance of skin burning is possible without extending the duration of the treatment.

Experience has shown it to be of advantage, if the relative bandwidth is equal to 5 % of the frequency of the acoustic waves at the midpoint between the upper and lower frequency limits of the said bandwidth.

In accord with one variant of the invention, provision has been made, that the acoustic waves be in the form of a stochastic, acoustic signal, especially emitted in the form of acoustic noise. Because of the stochastic nature of the acoustic waves, that is, due to the statistic dissemination of amplitude and frequency within the bandwidth, essentially, no standing waves can be generated.

The first part of the document is a letter from the
author to the reader. It is dated 10/10/10 and is
addressed to the reader. The letter is written in a
friendly and informal style. The author discusses the
purpose of the document and the information it contains.
The author also mentions that the document is a work
in progress and that it may contain some errors.
The author asks the reader to be patient and to
provide feedback if possible. The letter ends with a
warm greeting and a signature.

The second part of the document is a list of
references. It contains a list of books, articles,
and other sources that the author has used in the
document. The references are listed in alphabetical
order. The author has used a variety of sources to
gather information for the document. The references
include books, articles, and other sources that are
relevant to the topic of the document.

The third part of the document is a list of
acknowledgments. It contains a list of people who
have helped the author in the process of writing the
document. The acknowledgments are listed in alphabetical
order. The author has been helped by a number of
people in the process of writing the document. The
acknowledgments include the names of the people who
have helped the author in the process of writing the
document.

The fourth part of the document is a list of
appendices. It contains a list of additional
information that is related to the topic of the
document. The appendices are listed in alphabetical
order. The author has included a number of
appendices in the document. The appendices include
a list of additional information that is related to
the topic of the document.

The fifth part of the document is a list of
index. It contains a list of keywords and terms
that are used in the document. The index is listed
in alphabetical order. The author has included a
number of keywords and terms in the index. The
index is used to help the reader find the information
they are looking for in the document.

V1025/20122

In accord with another variant of the invention, provision has been made, that the source is to produce the acoustic waves in the form of deterministic signals. In accord with yet another particularly advantageous embodiment, the acoustic waves can be produced as a signal with a frequency, which changes itself with time within the allowed bandwidth. Even in this case, the sound waves in the treated object are incoherent, with the result, that they essentially allow no standing waves to be generated. It is particularly of advantage, if the frequencies, in successive signal packets change themselves throughout the entire bandwidth, since then, the entire bandwidth is available for the repression of standing waves.

In this way, the frequency in the said successive packets either changes in a sliding scale manner from the lower limiting frequency to the higher limiting frequency or the reverse. This means, that the frequency of the acoustic waves changes itself in a multiplicity of jumps between succeeding signal increments. In order to avoid, that by this jumping frequency change, undesirable disturbing emission products arise, provision is made, that the frequency in successive signal increments alternately change from the lower frequency limit to the upper frequency limit and vice versa.

The technical expenditure in time and effort for the realization of the frequency change is really quite small, if this changing is carried out in accord with a preferred embodiment of the invention in a linear manner.

For the sake of the shortest possible treatment time, the signal packets contiguously follow one another.

In order, that under all circumstances the generation of standing waves is excluded, it is advantageous, if the duration of a signal increment corresponds to at the most, one hundredfold, preferably, at the most, twenty-five fold of the return value of the midpoint frequency. For the same reason, it is advantageous, if the frequency changes itself within the individual signal packets over the time, at a rate which is at least equal to the quotient of the bandwidth and the said 100-fold frequency return value. It is particularly advantageous, if first, the midpoint frequency and the bandwidth of the acoustic waves and second, the bandwidth of the amplitude-frequency-response of the source are essentially identical. In this way, an optimal usage of the bandwidth of the source occurs. It is true, that a small relative bandwidth, for instance, 5 %, suffices, however, the greatest possible bandwidths are favorable, in the interest of the greatest possible

*Therapy apparatus for
Treatment with Acoustic Waves*

V1025/20122

avoidance of standing waves. If the source contains a piezoelectric transducer for the production of the acoustic waves, then relative bandwidths of more than 50 % can be obtained.

In case the area to be treated is such that a high intensity of the acoustic waves is necessary and that trauma to healthy tissue could be expected, if said healthy tissues were subjected to sound waves, it is of advantage to provide, that the source produce focused waves, since, in this case, then only such intensities which could lead to damage occur within the zone to be treated,.

Since interruptions of the procedure of the treatment for the avoidance of skin burning are not necessary, in the interest of a short treatment period, it is advantageous if the source of the acoustic waves produce said waves on a continuous basis. However, one should take care, that the treatment of one and the same zone, over a period of essentially more than 10 seconds has no advantage, since then, a marked energy transport by blood perfusion occurs. On this account, after some 10 seconds another zone of the area under treatment should be subjected to sound wave radiation.

In the following, the invention will be explained and described with the aid of the drawing. There is shown in:

Fig. 1 a rough schematic drawing of the invented therapy apparatus,

Fig. 2 an amplitude-frequency curve of the emitted acoustic waves for two different types of the apparatus in accord with Fig. 1,

Fig. 3 an additional invented therapy apparatus

Fig. 4 and Fig. 5
frequency-time curves of emitted waves for two different types of
invented apparatus according to Fig. 3,

V1025/20122

Fig. 6 a variant of a detail of the apparatus of Fig. 3, and

Fig. 7 a frequency-time curve for the emitted acoustic waves from the apparatus of Fig. 6.

In Fig. 1, a therapy apparatus is presented, which is in accord with the invention, and the source of its acoustic waves is designated by 1. The rough, schematically depicted source 1 possesses a housing 2, which is provided with a piezoelectric transducer 3 on one of its ends. The said transducer 3 is mounted on a backing 4. The housing 2 is filled with water to serve as a propagation medium for the acoustic waves which are emitted by the transducer 3. The housing 2, on its other end is closed by a flexible copper membrane 5. This serves the purpose of pressing contact of waves from the source 1 onto the schematically indicated patient P to form an acoustic connection. For the focusing of the emanating acoustic waves from the piezoelectric transducer 3, in the said housing 2 is to be found an installed acoustic convergence lens 6. By the action of this lens, the acoustic waves, in the manner indicated by dotted lines in Fig 1, are converge onto a target zone F.

For the carrying out of the treatment, the source 1, can be provided with the aid of a locator apparatus, which, for example could operate on an X-ray or an ultrasonic basis. So located, in a case such as Fig. 1, the respective area to be treated, for instance a tissue growth W, is brought to lie in the illustrated focus zone.

For powering the piezoelectric transducer 3, a current source is provided and indicated in the block illustration. This arrangement contains an electrical noise generator 7, the output signal of which is fed by means of a capacity amplifier 8 to the said piezoelectrical transducer 3.

Since the amplitude-frequency curve of the piezoelectric transducer 3, which transducer is affixed to a backing 4 and is adjacent to the acoustic propagation medium, possesses, in the zone of its natural resonance, a bandpass characteristic with an upper and a lower limiting frequency, respectively f_o and f_u , having a midpoint frequency f_m , wherein $2 f_m = f_o + f_u$, and further, since an electrical noise signal produced by the noise generator 7 is a stochiastic signal with statistically distributed frequencies and amplitudes, therefore, the source 1 projects acoustic waves, which fully occupy the

V1025/20122

bandwidth in the range of the natural resonance of the transducer 3. The relative bandwidth of the transducer 3, and therewith also of the acoustic waves, advantageously carries at least 50 % of the midpoint frequency, which corresponds to one of the resonate frequencies, preferable the natural frequency, of the said transducer 3 which is bound to the backing 4 and contactingly adjacent to the propagation medium.

As a result of the situation, that the emitted acoustic waves concern a stochastic signal which fills the bandwidth of the transducer 3, the propagated waves in the body of the patient P are incoherent. This leads to the result, that practically no standing waves can arise within the body of the animal or human patient. This, in turn, has the result that danger of skin burning is clearly diminished.

Thus there is no necessity, during the treatment of the patient P, to institute treatment pauses for the avoidance of skin burning, during which the emission of the acoustic waves which serve the treatment are stopped.

By means of a switch 9, between the noise generator 7 and the power amplifier 8, optionally, a deep pass filter 10 can be installed, which, above its limiting frequency, possesses a pulse slope of -3 dB/Octave pulse side drop-off. Since noise generators normally produce a white noise, the possibility exists, insofar as the limiting frequency of the deep pass filter 10 is not below the lower limiting border threshold of the piezoelectric transducer 3, to emit acoustic waves of source 1, with which, optionally either white or pink noise is available. If the choice is for pink noise, then the deep pass filter 10 between the noise generator 7 and the power amplifier 8 must be switched on.

The corresponding amplitude-frequency curves of the sound pressure p of the acoustic waves (measured close to the piezoelectric transducer 3) are presented in Fig. 2. In this depiction, f_w is the lower threshold frequency, f_m is the midpoint frequency and f_o is the upper frequency threshold of the bandwidth of the acoustic noise signal.

For the treatment of tissue changes, the midpoint frequency should lie somewhat near 1 to 3c MHz. Although also lesser values suffice, as a value for the relative bandwidth, 40 to 50 % of the midpoint frequency should be attained.

In order to avoid an unnecessary loading of the piezoelectric transducer 3 with electrical power, it is of advantage, to connect a band pass filter between the noise generator 7 and the power amplifier 8. This circuit arrangement, which is not shown in Fig. 1, reduces the bandwidth of the noise signals directed to the piezoelectric transducer 3 to the bandwidth of the piezoelectric transducer.

The invented therapy apparatus in accord with Fig. 3 differs from the that of Fig. 1, first, in that the focusing of the of the acoustic waves produced by the source 1 is accomplished not with the aid of an acoustic convergence lens, but by means of a spherical contouring of the piezoelectric transducer 3' which again is on the backing 4'.

As a current supply for the piezoelectric transducer 3', a sinusoid-generator 11 is provided, which, once more, is connected to the piezoelectric transducer 3' by means of the power amplifier 8'. The sinusoidal generator 11 can be frequency modulated and possesses also an entry port for a modulation signal, which is connected to one of these signal producing modulators 12. The modulator 12 possesses two outlet ports. There is available on the one outlet a sawtooth and on the other outlet a triangle, whereby the frequency of the sawtooth signal is twice as great as is that of the triangle. Dependent upon the position of a switch 13, the modulation signal is sent to the sinusoid generator 11 either as a sawtooth signal or a triangle signal. The frequency of the midpoint of the signal of the sinusoidal generator 11 changes itself linearly in dependency of the amplitude of the modulator signal. In accord with this, there arises for the position of the switch 13 in Fig. 3 a curve of the frequency f_c of the sine signal, as it is presented in Fig. 4. For the position of the switch (not shown) 13 the result is given in Fig. 5 showing the curve of the frequency f_c of the sine signal over the time t .

Also, the piezoelectric transducer 3' of the source Q' possesses a bandpasslike amplitude-frequency curve with a bandwidth limited by upper and lower limiting frequencies. The upper and the lower amplitude of the modulation signal sent to the sinusoidal generator 11 are so chosen, that the upper and the lower limiting frequencies f_u or f_l of the sine-signal are caused to be within the bandwidth of the amplitude-frequency curve of the piezoelectric transducer 3'.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

The first of these is the fact that the

 second of these is the fact that the

 third of these is the fact that the

 fourth of these is the fact that the

 fifth of these is the fact that the

 sixth of these is the fact that the

 seventh of these is the fact that the

 eighth of these is the fact that the

 ninth of these is the fact that the

 tenth of these is the fact that the

V1025/20122

Advantageously, the upper and the lower amplitude of the modulation signal is so selected, that the upper and the lower limiting frequency f_o and f_u of the sine signal coincide with the upper and lower limiting frequency of the bandwidth of the piezoelectric transducer.

The curve of the frequency f_a , of the emitted acoustic waves from the piezoelectric transducer s' during the time t corresponds in any case to that shown in the curve of Fig. 4 or Fig. 5. That is, they fill the bandwidth between the upper limiting frequency f_o and the lower frequency f_u . Thereby, the propagating waves which find themselves in the tissues of the patient are not coherent, with the result, that the repression of standing waves is being opposed.

The single signal increment, in which the time curve of the acoustic waves is subdivided, possess a time duration T , which is in the general magnitude of 25 times the return value of the midpoint frequency which lies within the bandwidth of the acoustic waves. The value for T should lie, at the most, at the general level of 100 times the return value of the midpoint frequency f_m .

Within the individual signal increments, the frequency of the acoustic waves should change, in relation to time, at a rate, which is at least equal to the quotients of the bandwidth, that is, the difference between the upper and the lower band frequencies, i.e., f_o and f_u , and the elapsed time T of the signal increment. This is indeed the case, since this rate, in the case of the therapy apparatus in accord with Fig. 3, is equal to the said quotient in the manner seen in Fig. 4 and Fig. 5.

By the two said means, assurance is given, that the standing waves, to all practical purposes, cannot evolve even under unfavorable conditions.

As already made clear in the case of the therapy apparatus as depicted in Fig. 1, it is not necessary to interpose treatment pauses for the avoidance of burning the skin. In a much better way, the successive signal increments directly follow each other in train.

A variant of the therapy apparatus as set forth in Fig. 3 is shown in Fig. 6. This differentiates itself Fig. 3, in that, between the switch 13 and the sinusoidal generator 11, an analog-adder 14 is connected in, which serves the purpose, of superimposing on the sawtooth/triangle wave form generated by the modulator 12, a sawtooth/triangle wave

THIS PAGE BLANK (USPTO)

V1025/20122

form signal, plus a higher frequency and advantageously lesser amplitude. For the production of these signals, a signal generator 15 is provided, which exhibits two outputs, of which one delivers the sawtooth and the other sends the triangular wave form signal. By means of a switch 16, optionally, one or the other signal can be fed to the adder 14. In this way, either the sawtooth signal delivered from the modulator 12, as well as the triangular signal delivered from the signal generator 15 can be optionally overlaid by a sawtooth or a triangular signal.

For the depicted positioning of the switches 13 and 16, there is evolved for the output signal of the adder 14 in the demonstrated curve in Fig. 7 the frequency f_e for the sinusoidal curve as plotted against the time t . The same curve of the frequency f_a against time t indicates also the emitted acoustic waves from the piezoelectric transducer 3'. Thus it becomes clear, that by means of the described signal overlay, the rate, at which the frequency of the acoustic waves alter themselves with time, allows itself to increase. It is obvious, that the frequency and the amplitude of the signals produced from the signal generator 15, advantageously can be optionally so selected, that an increase of the said rate can be achieved.

In the case of Fig. 6, the signals of the modulator 12 and of the signal generator 15 mutually synchronize themselves, which is plain to see in Fig. 7. For the modulator 12 and the signal generator 15, a mutual time-period generator 17 is furnished, which is connected with a time-period input of the modulator 12 as well as that of the signal generator 15. In this arrangement, between the time-period generator 17 and the modulator 12, a pulse-rate adjuster 18 is interposed, the division-rate of which, establishes the ratio in which the frequency of the output signal of the modulator 12 and that of the signal generator 15 relate to one another.

Although the described mode of construction and operation concerns exclusively the therapy apparatuses, which include a piezoelectric transducer, this transducer device can otherwise be comprised of a multiplicity of mosaically arranged transducer elements as well as a from a single transducer element. Further instead of the piezoelectric transducer, other, for instance magnetostrictive transducers can be provided. In any case, the piezoelectric transducer is especially well adapted for the invented therapy apparatus,

*Therapy apparatus for
Treatment with Acoustic Waves*

V1025/20122

since, with this device, when a satisfactory backing is provided and a secure connectability to the acoustic propagation equipment is established, an easily obtained, relatively wide bandwidth can be achieved. In the case of the described example of construction, focused ultrasonic emissions were radiated as acoustic waves. The acoustic waves do not necessarily have to be focused. Otherwise, in the case of the acoustic waves, these need not be necessarily supersonic waves.

The described signal forms in connection with the operational examples are to be understood as only exemplary in their nature. It is essential, that the acoustic waves fill a bandwidth and thus are incoherent in the manner necessary to avoid standing waves.

The sources in the case of the described mode of construction exhibit a backing. This can also be dispensed with. The possibility exists, that instead of a backing, or in addition to a backing, a so called $\lambda/4$ – coupling layer for the connection of the source, that is, the piezoelectric ultrasonic transducer, can be installed on the acoustic propagation medium.

10/10/10

10/10/10

The first part of the paper is devoted to the study of the properties of the wave function in the case of a free particle. It is shown that the wave function satisfies the Schrödinger equation and that the probability density is conserved.

In the second part of the paper, the properties of the wave function are studied in the case of a particle in a potential well. It is shown that the wave function satisfies the Schrödinger equation and that the probability density is conserved.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

The third part of the paper is devoted to the study of the properties of the wave function in the case of a particle in a potential well. It is shown that the wave function satisfies the Schrödinger equation and that the probability density is conserved.

In the fourth part of the paper, the properties of the wave function are studied in the case of a particle in a potential well. It is shown that the wave function satisfies the Schrödinger equation and that the probability density is conserved.

The fifth part of the paper is devoted to the study of the properties of the wave function in the case of a particle in a potential well. It is shown that the wave function satisfies the Schrödinger equation and that the probability density is conserved.

In the sixth part of the paper, the properties of the wave function are studied in the case of a particle in a potential well. It is shown that the wave function satisfies the Schrödinger equation and that the probability density is conserved.

*Therapy apparatus for
Treatment with Acoustic Waves*

V1025/20122

Claims

Claimed is:

1. An apparatus for therapy for treatment with acoustic waves, having a source (1, 1') for the generation of said waves, which waves fully occupy a bandwidth, which has an upper and a lower limiting frequency, respectively (f_o and f_u).
2. An apparatus for therapy in accord with Claim 1, therein characterized, in that the relative bandwidth of the acoustic waves at least equals 5 % of the midpoint frequency (f_m) of the acoustic waves.
3. An apparatus for therapy in accord with Claim 1 or 2, therein characterized, in that the source (1) generates acoustic waves in the form of a stochastic acoustic signal.
4. An apparatus for therapy in accord with Claim 3, therein characterized, in that the source (1) generates acoustic waves in the form of acoustic noise.
5. An apparatus for therapy in accord with Claim 1 or 2, therein characterized, in that the source (1') generates the acoustic waves in the form of a deterministic acoustic signal.
6. An apparatus for therapy in accord with Claim 5, therein characterized, in that the source (1') generates the deterministic signal as a signal which, which, within the confines of the bandwidth, and when plotted against time, produces a sliding-scale signal.
7. An apparatus for therapy in accord with Claim 6, therein characterized, in that the frequency in successive signal increments of the acoustic waves, respectively alter themselves over the entire bandwidth.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

*Therapy apparatus for
Treatment with Acoustic Waves*

V1025/20122

8. An apparatus for therapy in accord with Claim 7, therein characterized, in that the frequency in successive signal increments alters itself in sliding-scale manner respectively either from the lower limiting frequency (f_u) of the bandwidth to the upper limiting frequency (f_o) or vice versa.
9. An apparatus for therapy in accord with Claim 7, therein characterized, in that the frequency in successive signal increments alters itself in sliding scale manner from the lower limiting frequency (f_u) of the bandwidth to the upper limiting frequency (f_o) and from the upper limiting frequency (f_o) to the lower limiting frequency (f_u).
10. An apparatus for therapy in accord with one of the Claims 5 to 9, therein characterized, in that the frequency changes itself in respect to time.
11. An apparatus for therapy in accord with one of the Claims 7 to 10, therein characterized, in that the signal increments continuously follow one another.
12. An apparatus for therapy in accord with one of the Claims 7 to 11, therein characterized, in that the time elapse of the signal increment corresponds generally to one-hundredfold of the return value of the midpoint frequency (f_m).
13. An apparatus for therapy in accord with one of the Claims 7 to 12, therein characterized, in that the frequency within the individual signal increment changes with time by a rate, which is at least equal to the quotients of the bandwidth and the one-hundredfold return value of the midpoint frequency (f_m).
14. An apparatus for therapy in accord with one of the Claims 1 to 13, therein characterized, in that the mid-point frequency (f_m) and the bandwidth of the acoustic waves are at least essentially identical to the midpoint frequency (f_m) and the bandwidth of the amplitude-frequency curve of the source (1, 1').

1. The first part of the document is a cover sheet.

2. The second part of the document is a table of contents.

3. The third part of the document is a list of figures.

4.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

*Therapy apparatus for
Treatment with Acoustic Waves*

V1025/20122

15. An apparatus for therapy in accord with one of the Claims 1 to 14, therein characterized, in that the source (1, 1') produces focused acoustic waves.
16. An apparatus for therapy in accord with one of the Claims 1 to 15, therein characterized, in that the source (1, 1') continually generates the acoustic waves during a period of time.

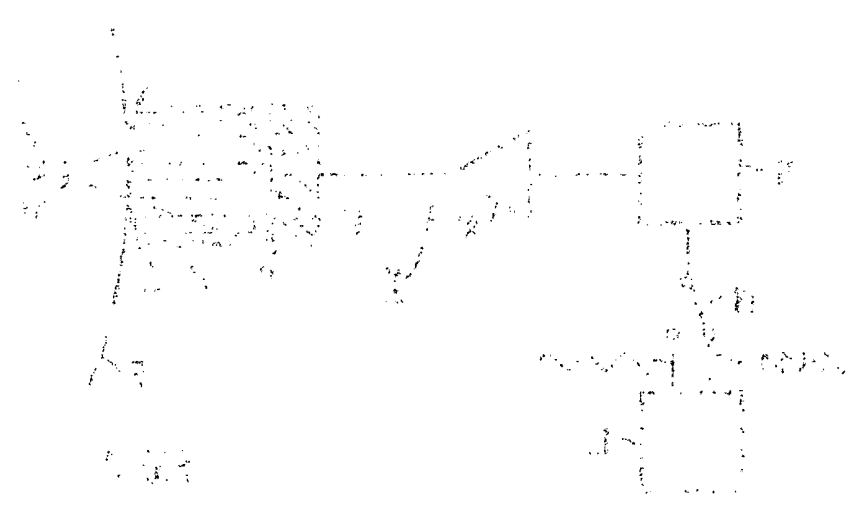
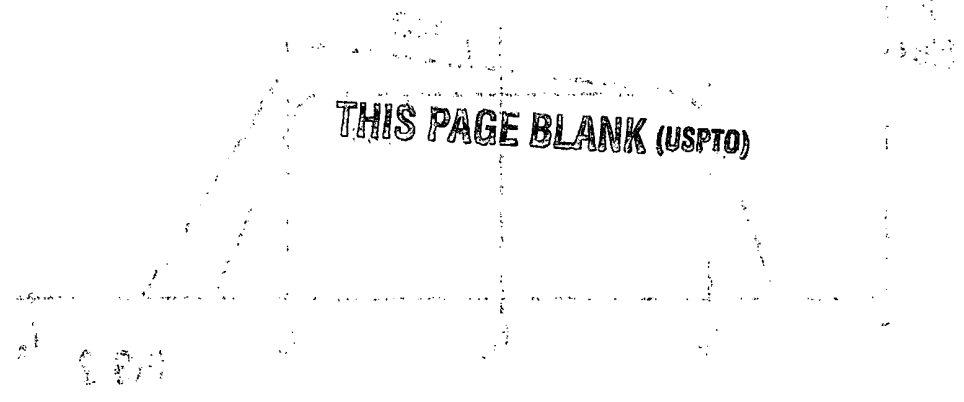
(hereto see 3 pages of drawings).

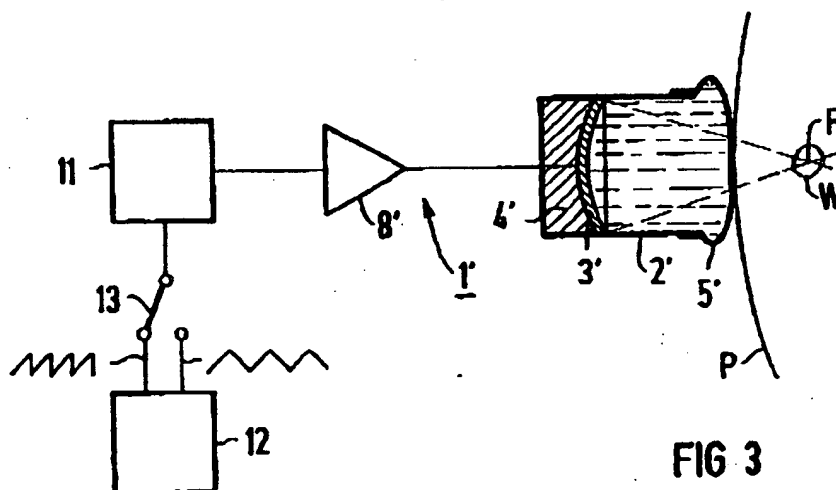
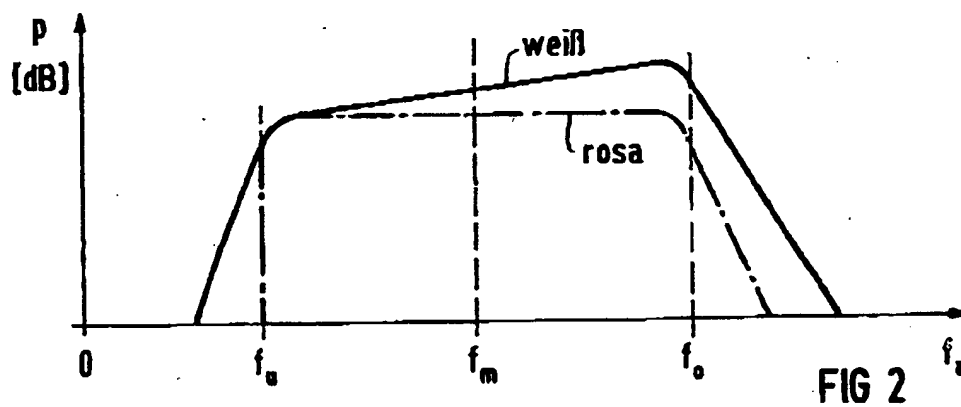
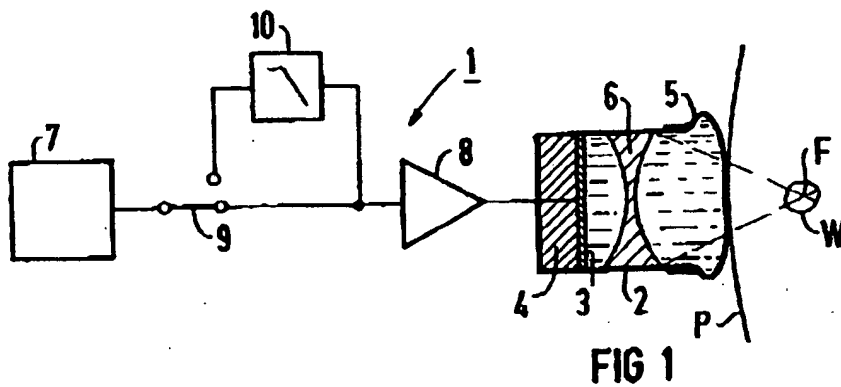
* * *

4374

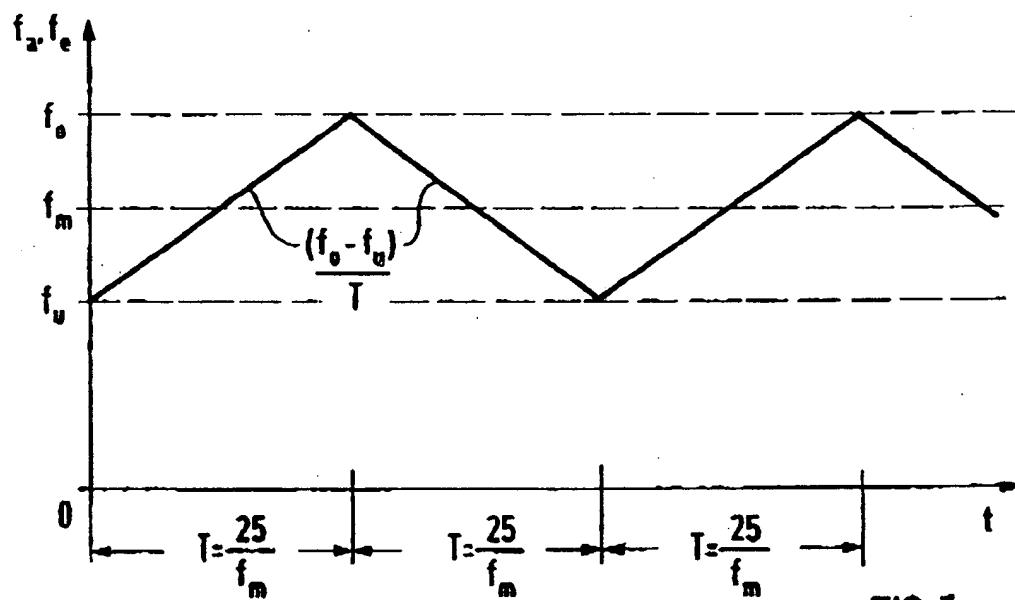
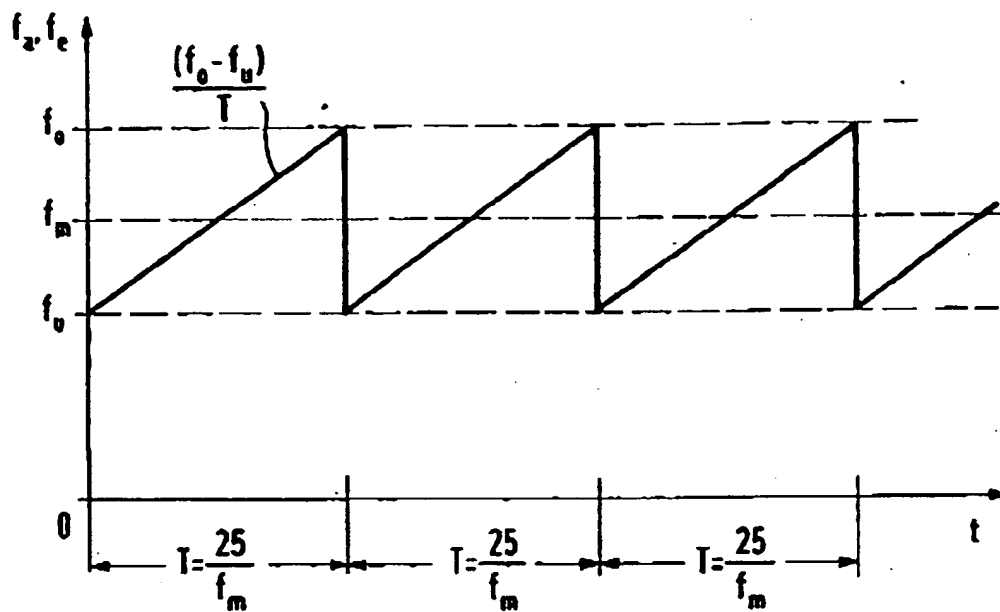


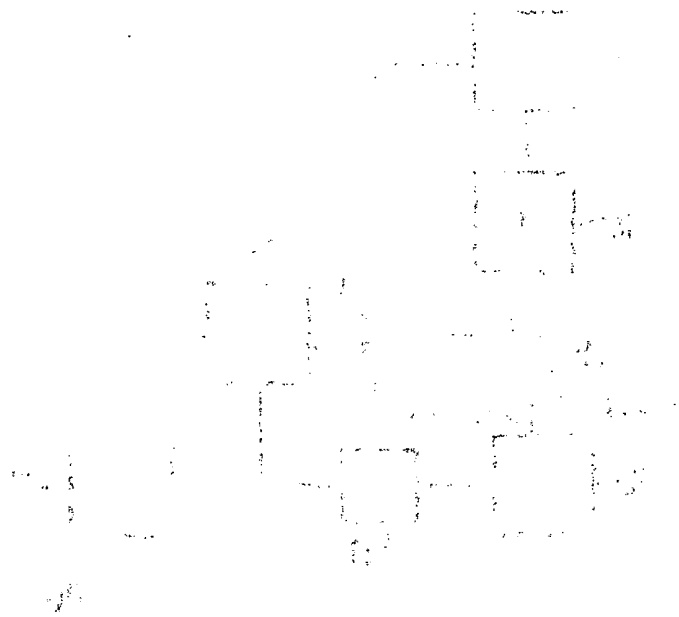
THIS PAGE BLANK (USPTO)



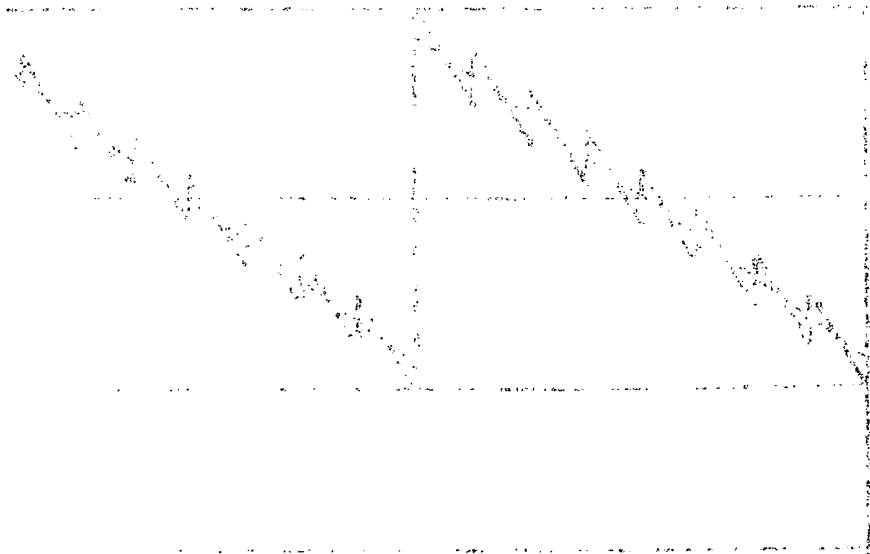


THIS PAGE BLANK (USPTO)





THIS PAGE BLANK (USPTO)



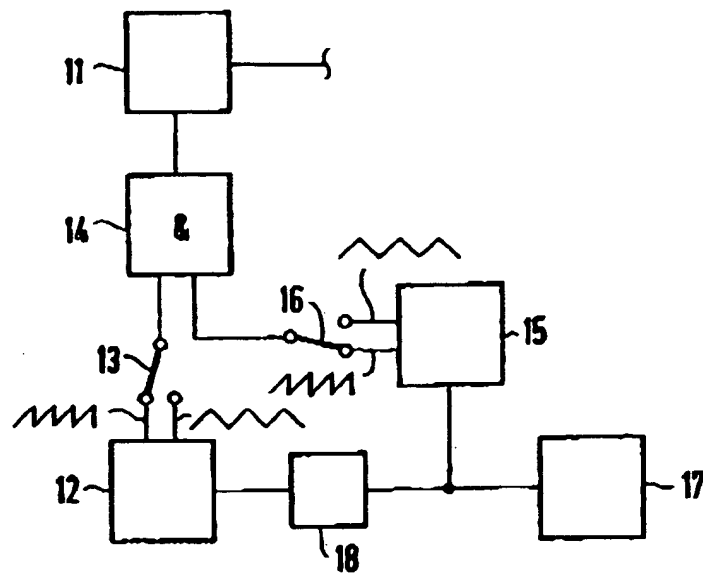


FIG 6

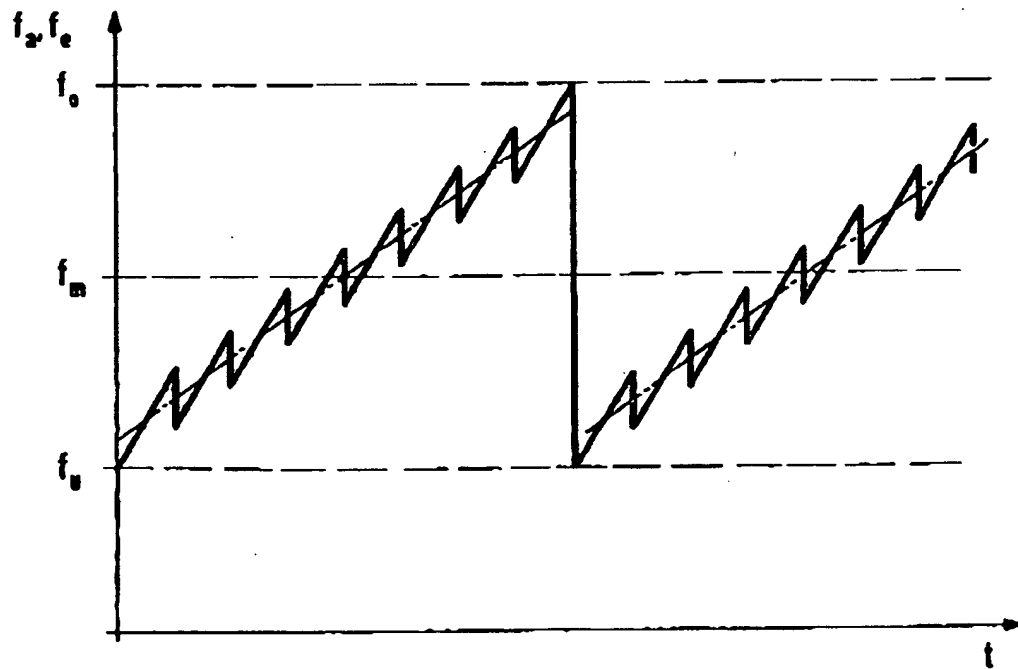


FIG 7

[illegible]

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)